

Ю. Н. Оленева, С. Л. Демаков, О. А. Оленева*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**olenevaolga@mail.ru*

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВА СИСТЕМЫ Ti–Ni–Cu–Fe

Рассмотрены вопросы формирования структуры и фазового состава многокомпонентных сплавов на основе титана. Проведен анализ структуры при помощи растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального анализа и рентгеноструктурного фазового анализа.

Ключевые слова: титановый сплав, тройная эвтектика, интерметаллид, система Ti–Ni–Cu.

Yu. N. Oleneva, S. L. Demakov, O. A. Oleneva

THE STUDY OF THE STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF THE ALLOY TI–NI–CU–FE SYSTEM

Questions of formation of structure and phase structure of multicomponent alloys on the basis of the titanium were considered. Structural analysis by scanning electron microscopy, X-ray spectrum analysis and X-ray diffraction method was carried out.

Keywords: titanitic alloys, threefold eutectic, intermetallida, Ti–Ni–Cu system.

Создание нового сплава, обладающего новым, недостижимым ранее, комплексом свойств, является необходимым условием развития промышленности. Данная работа посвящена разработке литейного сплава на основе титана с низкой температурой плавления для различного применения в качестве припоев, литейных сплавов, порошковых материалов для 3D-прототипирования или порошковой металлургии.

В данной работе изучался сплав Ti–7Ni–7Cu–3Fe в литом состоянии.

Образцы подвергались закалке в воду с температур: 700, 800, 900 °C с выдержкой 20 минут.

Основными методами исследования служили растровая электронная микроскопия (РЭМ), микрорентгеноспектральный анализ (МРСА), оптическая металлография (ОМ), дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК), рентгеноструктурный фазовый анализ (РСФА).

После выплавки сплав легко извлекался из тигля, толщина стенок которого не имела явного утонения, слиток сохранил целостность. На поверхностях слитка и поперечных шлифах не обнаружено присутствия трещин и крупных литейных пор. Уточнение химического состава с помощью МРСА показало, что реальный состав сплава практически соответствует шихтовке.

Расшифровка дифрактограмм закаленных образцов подтвердила наличие интерметаллидных фаз: Ti_2Ni (ГЦК), Ti_2Cu (тетроганальная), $\alpha-Ti$ с ГПУ решеткой. Линий β -фазы обнаружено не было.

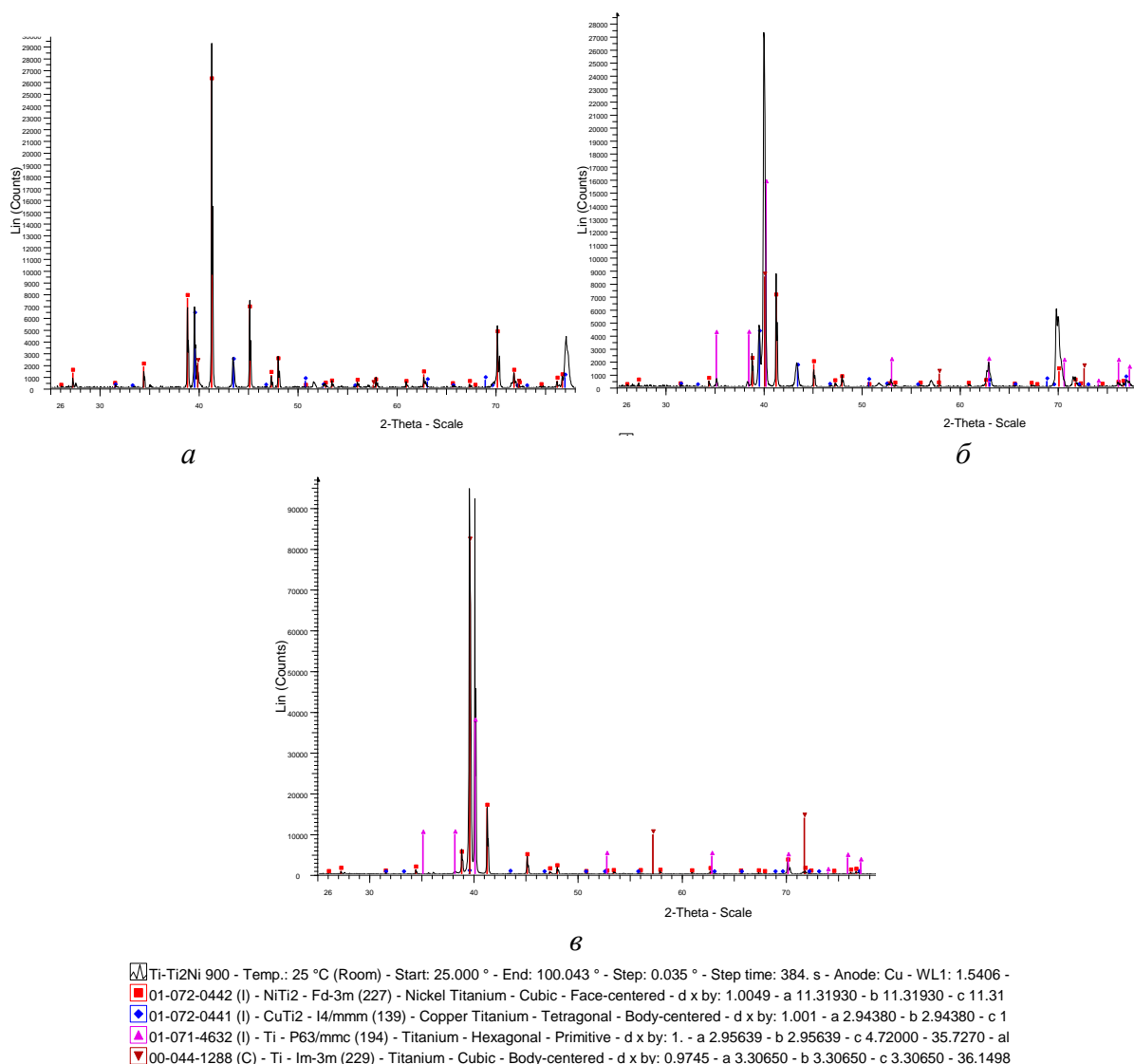


Рис. 1. Дифрактограммы закаленных образцов: *a* – 700 °C; *б* – 800 °C; *в* – 900 °C

Микроструктуры закаленных образцов приведены на рис. 2. При нагреве на максимальную температуру в структуре отсутствуют участки оплавления, температура начала плавления располагается выше 900 °C. По мере увеличения температуры закалки происходит растворение первичных дендритов малолегированного титана, объемная доля которого постепенно

уменьшается. Наблюдаются процессы частичного растворения и коагуляции составляющих эвтектики. Заметно укрупняются интерметаллиды, которые ранее были определены как Ti_2Cu .

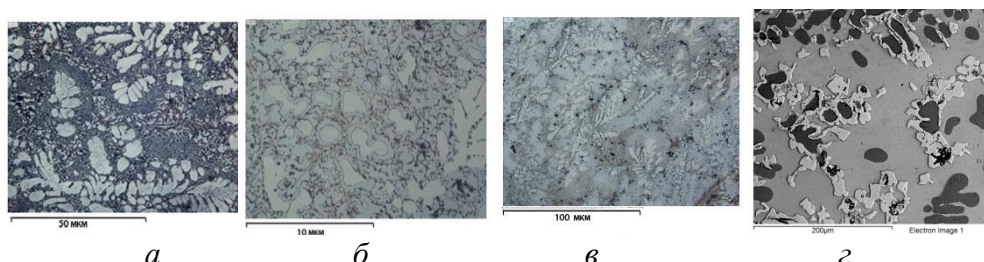


Рис. 2. Микроструктура образца после нагрева до 700 ° (*а*); на 800 °С (*б*) и на 900 °С и охлаждением в воду (*в*, *г*)

Обнаружено, что интерметаллид Ti_2Ni имеет заметную область растворимости. В нем зафиксировано до 6,6 ат.% Cu и практически все железо. По-видимому Ni и Fe являются взаимозамещаемыми в решетке этого интерметаллида. Отсутствие β -фазы после закалки связано с ранее обнаруженным в системе Ti–Cu эффектом, когда в ходе охлаждения не фиксируется высокотемпературное β -фаза, а происходит мартенситное β/α' -превращение [1].

Для определения эвтектоидной температуры α/β -перехода провели ДСК анализ образца, закаленного с 900 °С. На кривой ДСК (рис. 3) экзотермический пик в диапазоне 300–400 °С соответствует распаду метастабильной фазы, эндотермический пик с максимумом 700 °С соответствует температуре α/β -перехода. Второй эндотермический пик около 850 °С отвечает температуре α/β -перехода для первичных дендритов, содержащих практически чистый Ti. Падение кривой при температурах выше 900 °С говорит о начале частичного оплавления.

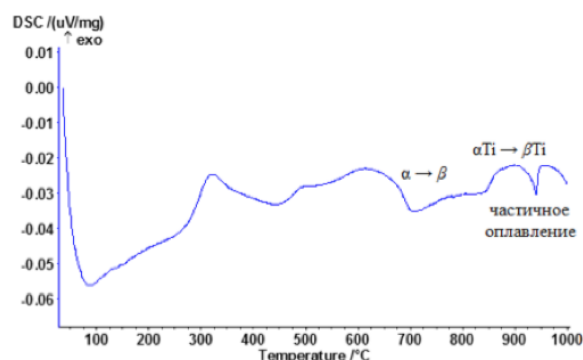


Рис. 3. ДСК-кривая нагрева сплава закаленного с 900 °С

В итоге обнаружено, что эвтектоидная температура снизилась со значений 770 °С (для бинарной системы Ti–Ni [2]), 798 °С (для бинарной системы Ti–Cu [2]) до 700–710 °С. Вероятно это вызвано присутствием Fe, эвтектоидная температура которого 590 °С. Снижение эвтектоидной

температуры позволяет значительно повысить растворимость легирующих элементов в высокотемпературной β -фазе как минимум в два раза, что и было зафиксировано при проведении МРСА. Этот эффект приводит к снижению общей объемной доли «хрупких» интерметаллидов и увеличивает количество пластичной β -фазы, что позволяет провести горячую деформацию и управлять структурой и свойствами за счет закалки и старения. Данный уровень легирования позволяет избежать выделения нежелательной ω -фазы (электронная концентрация β раствора превышает 4,2 e/ат).

В целом изучение этого сплава позволило выявить дальнейшее направление по оптимизации легирования, а именно, следует увеличить соотношение Cu/(Ni+Fe), ввести дополнительно около 2 ат. % меди, что позволит избежать образование первичных кристаллов титана. Следует проверить рациональность изменение соотношения Fe/Ni при общем сохранении доли в сторону увеличения.

Работа выполнена при поддержке проекта № 2329 в рамках базовой части госзадания 236/2014 Минобрнауки РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Loo F. J., Leenen G. F. Phase Relations in the Ternary Ti–Ni–Cu System at 800 and 870 °C // J. Less Common Met. 57. 1978. P. 111–121.
2. Yakushiji M., Kondo Y., Kamei K. Reactions with Melt in the Copper-Rich Region of the Copper-Nickel-Titanium System // Nippon Kinzoku Gakkaishi. 44(6). 1980. P. 245–272.